БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА
SAFETY OF HUMAN ACTIVITY



УДК 621.928.93 10.23947/1992-5980-2017-17-3-156-165

Сравнительный анализ аэродинамических характеристик центробежных пылеуловителей при проведении параллельных сравнительных испытаний[*]

Н. Н. Азимова[1], Ю. И. Булыгин[2], И. С. Купцова[3]**
[1, 2, 3] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Comparative analysis of aerodynamic characteristics of centrifugal dust collectors under parallel comparison testing[***]

N. N. Azimova[1], Yu. I. Bulygin[2], I. S. Kuptsova[3]**
[1, 2, 3] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Статья посвящена исследованиям на полупромышленной экспериментальной установке «Циклон», которая позволяет проводить параллельные сравнительные аэродинамические испытания цилиндрического циклона с улиткой «ЦН-15у-300» и запатентованного циклона с обратным конусом «ЦОК-200-300». Цель работы — экспериментальное получение основных аэродинамических характеристик центробежных пылеуловителей разной формы без бункеров при проведении параллельных сравнительных испытаний с последующим анализом полученных экспериментальных результатов. Важной научно-технической задачей является повышение эффективности, увеличение производительности при одновременном снижении энергозатрат на вентиляционные системы и металлоемкости пылеуловителей центробежного действия.
Материалы и методы. Проведены параллельные сравнительные аэродинамические испытания центробежных пылеуловителей разной формы цилиндрического циклона с улиткой «ЦН-15у-300» и запатентованного циклона с обратным конусом «ЦОК-200-300». При этом использованы пневмометрические трубки Пито и два высокоточных дифференциальных манометра *Testo*-521. Проведены математические расчеты коэффициентов гидравлического сопротивления исследуемых аппаратов
Результаты исследования. В результате экспериментов выявлен характер изменения полных давлений и скорости движения воздуха в различных измерительных точках входных и выходных сечений патрубков циклонных аппаратов при разной производительности вытяжного вентилятора. Рассчитанные коэффициенты гидравлического сопротивления (КГС) аппарата «ЦОК-200-300» оказались в 2–2,2 раза меньше КГС «ЦН-15у-300» за счет более высокой скорости потока в теле аппарата, что говорит о его лучших аэродинамических характеристиках и возможно более высокой эффективности пылеулавливания за счет высокой степени турбулизации потоков.
Обсуждение и заключения. Полученные при испытаниях аэродинамические характеристики применяются в процессе эксплуатации для оценки эффективности и экономической выгоды использования циклонного аппарата. Для проверки

Introduction. The article is devoted to investigations on the “Cyclone” semi-industrial pilot plant which allows for parallel comparative aerodynamic testing of the cylindrical cyclone with “TsN-15u-300” volute and the patented cyclone with the “CSC-200-300” inverted cone. The work objective is to obtain experimentally major aerodynamic characteristics of the centrifugal dust collectors of various shapes without bunkers under the parallel comparative testing with the subsequent analysis of the results. Improving the efficiency, increasing the productivity while reducing the energy consumption for ventilation systems and metal consumption for centrifugal dust collectors, are crucial technological tasks.
Materials and Methods. Parallel comparative aerodynamic testing of centrifugal dust collectors of various shapes for the cylindrical cyclone with “TsN-15u-300” volute and the patented cyclone with the “CSC-200-300” inverted cone is conducted. At this, Pitot tubes and two high-precision *Testo*-521 differential pressure gauges are used. Mathematical calculations of the hydraulic resistance coefficients for the investigated devices are made.
Research Results. As a result of the experiments, the behavior of the total pressures and air velocity at various gage points of the inlet and outlet nozzle sections of the cyclone apparatus at different capacities of the fan exhauster is specified. The calculated hydraulic resistance coefficients (HRC) of the “CSC-200-300” device appear 2–2.2 times lower than HRC of “TsN-15u-300” due to the higher flow velocity in the device body. This indicates its best aerodynamics and possibly higher efficiency of the dust collection due to the high flow turbulence.
Discussion and Conclusions. The obtained aerodynamic characteristics are used in operation to assess the effectiveness and

[*] Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
[**] E-mail: bulyur_rostov@mail.ru, arkomaazimov@ mail.ru, i-kyptsova@mail.ru
[***] The work was performed as part of the initiative of the Scientific-research work.

полученных выводов необходимы дальнейшие экспериментальные исследования на полупромышленной установке.

economic benefits of the cyclone apparatus. Further experimental studies on the pilot plant are needed to verify the conclusions.

Ключевые слова: аэродинамика, эффективность, циклон, экспериментальная установка, конструктивные параметры.

Keywords: aerodynamics, efficiency, cyclone, pilot plant, design factors.

Образец для цитирования: Азимова, Н. Н. Сравнительный анализ аэродинамических характеристик центробежных пылеуловителей при проведении параллельных сравнительных испытаний / Н. Н. Азимова, Ю. И. Булыгин, И. С. Купцова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2017. — Т.17, № 3. — С. 156–165.

For citation: N.N. Azimova, Yu.I. Bulygin, I.S. Kuptsova. Comparative analysis of aerodynamic characteristics of centrifugal dust collectors under parallel comparison testing. Vestnik of DSTU, 2017, vol. 17, no.3, pp. 156–165.

Введение. Снижение запыленности рабочих зон и защита окружающей среды от пылевых выбросов предприятий машиностроения остается актуальной задачей.

Наиболее широкое распространение в промышленности в качестве аппаратов пылеулавливания получили центробежные отделители пыли, главным образом циклоны.

Важной научно-технической задачей является повышение эффективности, увеличение производительности при одновременном снижении энергозатрат на вентиляционные системы и металлоемкости пылеуловителей центробежного действия.

В процессе эксплуатации для оценки эффективности и экономической выгоды использования циклонного аппарата применяются полученные при испытаниях аэродинамические характеристики циклонов и зависимость гидравлического сопротивления циклона от его производительности (расхода) газов.

На кафедре «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета в течение последних лет ведутся НИР, посвященные разработке и созданию усовершенствованных конструкций центробежных пылеуловителей разной формы, предусматривающих возможность регулирования их конструктивных параметров в зависимости от свойств и характеристик пылевоздушной среды [1–3]. Рассматриваемые в статье конструктивные решения защищены рядом патентов РФ [4–5].

Целью работы является экспериментальное получение основных аэродинамических характеристик центробежных пылеуловителей разной формы без бункеров при проведении параллельных сравнительных испытаний с последующим анализом полученных экспериментальных результатов. Поэтому данная статья является актуальной, особенно для последующего практического применения ее результатов в технике обеспыливания.

Постановка задачи исследования и требования к аэродинамическому эксперименту. Для решения поставленных задач были сформулированы требования к эксперименту:

— испытания проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.018-79 «Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний»;

— необходимо выявить характер изменения давления, скорости движения воздуха и его расхода в разных точках в сечениях входных и выходных патрубков циклонных аппаратов при различной задаваемой производительности вытяжного вентилятора [2–4];

— получить экспериментально полные, статические и динамические давления, скорость движения воздушного потока в разных точках по сечениям на входе и выходе циклонных аппаратов при различной задаваемой производительности вытяжного вентилятора;

— сравнить расчетные и экспериментально найденные коэффициенты гидравлического сопротивления исследуемых аппаратов «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300».

Экспериментальная установка сконструирована таким образом, чтобы можно было параллельно исследовать циклонные аппараты различной формы (рис. 1) [5].





Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 — аппарат «Циклон ЦН15у-300»; 2 — аппарат «ЦОК-200-300»; 3 — входной патрубок «Циклон ЦН-15у-300»; 4 — входной патрубок «ЦОК»; 5 — закрываемая перегородка; 6 — выходной патрубок; 7 — радиальный вентилятор; 8 — электронный блок управления вентилятором

Fig. 1. Pilot plant: 1 – "Cyclone TsN15u-300" apparatus; 2 – "CSC -200-300" apparatus; 3 – inlet nozzle of "Cyclone TsN15u-300"; 4 – inlet nozzle of "CSC -200-300"; 5 – lockable baffle; 6 – outlet nozzle; 7 – radial fan; 8 – electronic fan control unit

Два аппарата «Циклон ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300» с равными параметрами воздуховодов устанавливаются параллельно. Поочередно перекрываются перегородки в области входного патрубка с воздуховодом, подающим воздушный поток в циклонный аппарат, — и таким образом появляется возможность проводить испытания аппаратов с разными конструктивными особенностями, но с равными параметрами воздуховода. При этом не теряется время на смену аппаратов и не нарушается герметичность воздуховода. Измерения на аппаратах проводятся без бункеров, отверстия герметично закрыты.

Измерения давлений и скоростей воздуха осуществлялись при помощи двух пневмометрических трубок Пито и двух дифференциальных манометров *Testo*-521 (Германия), которые были установлены одновременно на входе и выходе исследуемых аппаратов [6].

Аэродинамические испытания полупромышленной установки. Для проведения измерения аэродинамических характеристик циклонных аппаратов была собрана схема, в которой использованы дифференциальные микроманометры *Testo* 521-1 с комплектом напорных трубок Пито.

Диапазон измерения скорости газового (воздушного) потока трубки Пито составляет 4–21 м/с. При измерении скоростей от 1,5 до 4 м/с и от 21 до 40 м/с погрешность не нормирована. Средний коэффициент преобразования динамического (скоростного) давления во всем диапазоне скоростей для напорной дифференциальной трубки Пито составляет 0,95–1,05. Предел допускаемой относительной погрешности определения коэффициента преобразования для всего диапазона скоростей для напорной дифференциальной трубки Пито не более ±3 % [7].

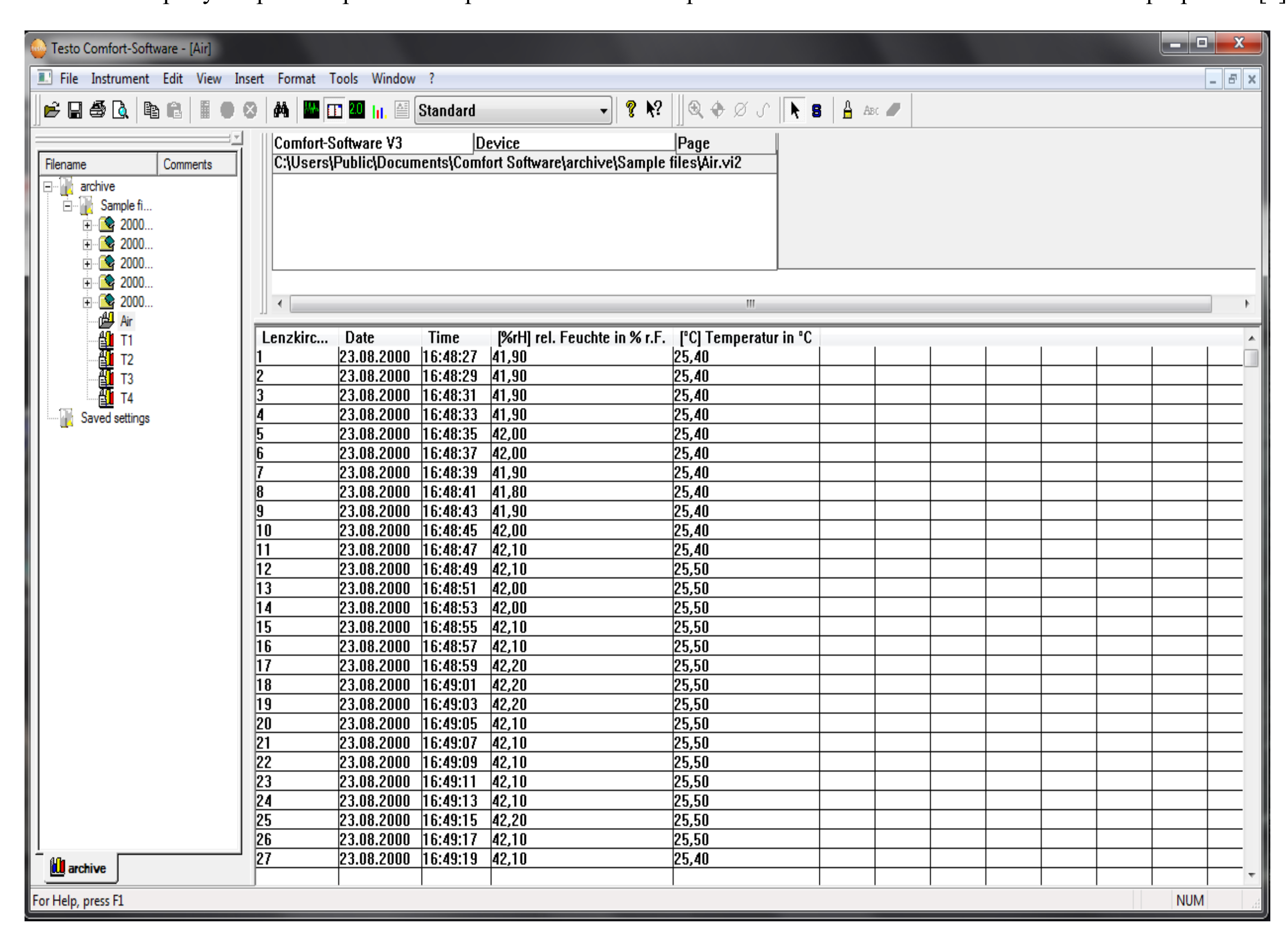
Дифференциальный манометр *Testo* 521-1. Движение воздушных потоков и изменение аэродинамических параметров внутри циклонного аппарата имеют более сложный вихревой характер, чем на входе и выходе из него. Для регистрации всех изменений использовался дифференциальный манометр *Testo* 521 со встроенным сенсором давления от 0 до 100 гПа и для измерения скорости потока в диапазоне от 5 до 100 м/с с применением трубки Пито. Модель *Testo* 521-1 имеет погрешность 0,2 % от полной шкалы. Погрешность при 5 м/с — 0,32 м/с. Погрешность при 20 м/с — 0,09 м/с. Погрешность при 50 м/с — 0,05 м/с.

При необходимости измерений скорости потока в диапазоне от 1 до 12 м/с можно проводить точные измерения с использованием внешнего зонда давления 100 Па. Зависимость от расположения полностью устранена благодаря

двойной мембране. Изменение месторасположения зонда не влияет на результаты измерений: погрешность при 1 м/с — 0,09 м/с; погрешность при 5–8 м/с — 0,03 м/с [8].

Прибор позволяет задавать время, промежуток, количество измерений, температуру, относительную влажность, абсолютное давление, поперечное сечение воздуховода, коэффициент компенсации, коэффициент трубки Пито и запустить автоматическое сохранение данных при проведении замеров. Прибор одновременно может сохранить во внутренней памяти 25000 измерений. Они могут быть переданы сразу в электронную вычислительную систему или на принтер.

Программный комплекс обеспечения взаимосвязи измерительных приборов с современными электронными вычислительными системами. Дифференциальный манометр соединялся с электронно-вычислительной системой по стандарту *RS*232. Считывание, обработку и выдачу результатов обеспечивал программный комплекс *Comfort Software* 3.4 (рис. 2). Он позволяет напрямую в режиме реального времени снимать измеряемые показатели и записывать их в тело программы [9].



Lenzkirc...	Date	Time	[%rH] rel. Feuchte in % r.F.	[°C] Temperatur in °C
1	23.08.2000	16:48:27	41,90	25,40
2	23.08.2000	16:48:29	41,90	25,40
3	23.08.2000	16:48:31	41,90	25,40
4	23.08.2000	16:48:33	41,90	25,40
5	23.08.2000	16:48:35	42,00	25,40
6	23.08.2000	16:48:37	42,00	25,40
7	23.08.2000	16:48:39	41,90	25,40
8	23.08.2000	16:48:41	41,80	25,40
9	23.08.2000	16:48:43	41,90	25,40
10	23.08.2000	16:48:45	42,00	25,40
11	23.08.2000	16:48:47	42,10	25,40
12	23.08.2000	16:48:49	42,10	25,50
13	23.08.2000	16:48:51	42,00	25,50
14	23.08.2000	16:48:53	42,00	25,50
15	23.08.2000	16:48:55	42,10	25,50
16	23.08.2000	16:48:57	42,10	25,50
17	23.08.2000	16:48:59	42,20	25,50
18	23.08.2000	16:49:01	42,20	25,50
19	23.08.2000	16:49:03	42,20	25,50
20	23.08.2000	16:49:05	42,10	25,50
21	23.08.2000	16:49:07	42,10	25,50
22	23.08.2000	16:49:09	42,10	25,50
23	23.08.2000	16:49:11	42,10	25,50
24	23.08.2000	16:49:13	42,10	25,50
25	23.08.2000	16:49:15	42,20	25,50
26	23.08.2000	16:49:17	42,10	25,50
27	23.08.2000	16:49:19	42,10	25,40

Рис. 2. Интерфейс программы *Comfort Software* 3.4

Fig. 2. Comfort Software 3.4 interface

В ходе экспериментов по изучению аэродинамических параметров циклонных аппаратов произведено более 1260 замеров, получено около 4000 значений данных. Без специального программного обеспечения и интерфейса взаимодействия измерительного прибора с электронно-вычислительной системой обработка такого массива данных была бы весьма затруднительна и привела бы к значительным погрешностям.

Эксперимент, проведенный на установке для сравнения аэродинамических характеристик циклонных аппаратов разной геометрической формы. Для измерения давлений и скоростей движения воздуха в воздуховодах (каналах) выбраны участки с расположением мерных сечений на расстояниях не менее шести гидравлических диаметров D_h (м) за местом возмущения потока (отводы, шиберы, диафрагмы и т. п.) и не менее двух гидравлических диаметров перед ним [10]. Координаты точек измерений давлений и скоростей (рис. 3), а также количество точек определяются формой и размерами мерного круглого сечения в соответствие с ГОСТ 12.3.018-79.

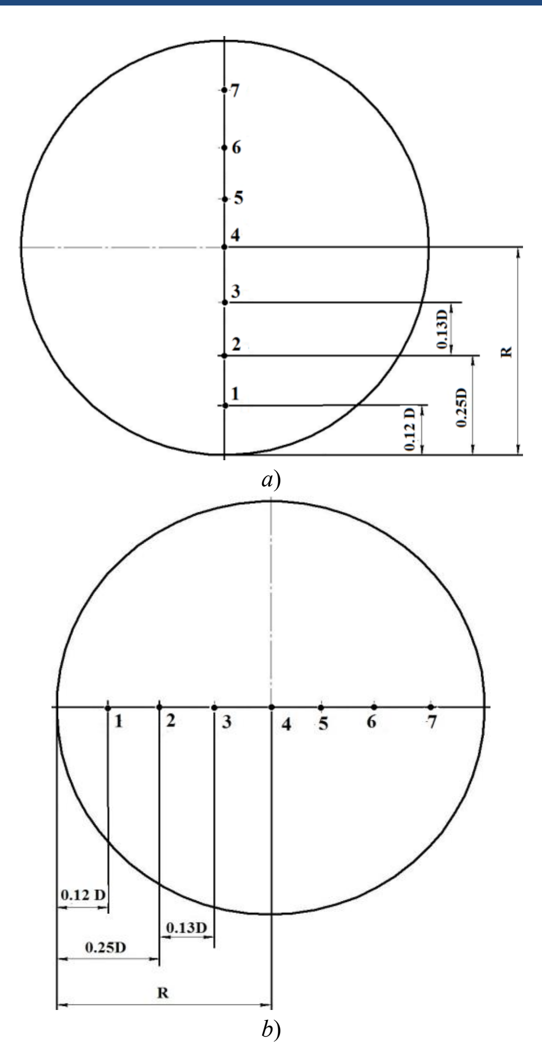


Рис. 3. Схема расположения точек измерения давлений и скоростей патрубка циклонов: входного (*a*), выходного (*b*)

Fig. 3. Layout chart of cyclone nozzle pressure and velocity gage points: inlet (a), outlet (b)

Диаметр патрубка исследуемых аппаратов составляет 200 мм, следовательно, основные точки измерения будут находиться на расстоянии 0,12*D* (1) от стенок патрубка и на расстоянии 0,5*D* (4). Для точности эксперимента были взяты еще четыре дополнительные точки, расположенные на расстоянии 0,25 *D* (2, 6) и 0,38 *D* (3, 5).

На входном и выходном патрубках экспериментальной установки были проделаны отверстия $D_{\text{ОТВ}} = 20$ мм. В этих отверстиях с помощью силиконовых пробок фиксировались трубки Пито, подключенные к двум дифференциальным манометрам *Testo* 521-1. Далее запускался в эксплуатацию радиальный вентилятор «РОВЕН *VCZpl*-250», работающий на вытяжку воздушного потока. С помощью электронного блока управления менялись режимы работы вентилятора. После 15-минутной работы вентилятора для полного установления ламинарного течения воздушного потока на входном и выходном патрубках установки проводились замеры полного, статического и динамического давления, расхода, скорости воздушного потока. Для объективности исследования замеры проводились 30 раз на трех разных режимах работы вентилятора (*n*1 = 1710 об/мин, *n*2 = 2250 об/мин, *n*3 = 2850 об/мин) в семи точках по сечениям на входе и выходе циклонных аппаратов «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300». Работа вентилятора сопровождается следующими объемными расходами на входе:

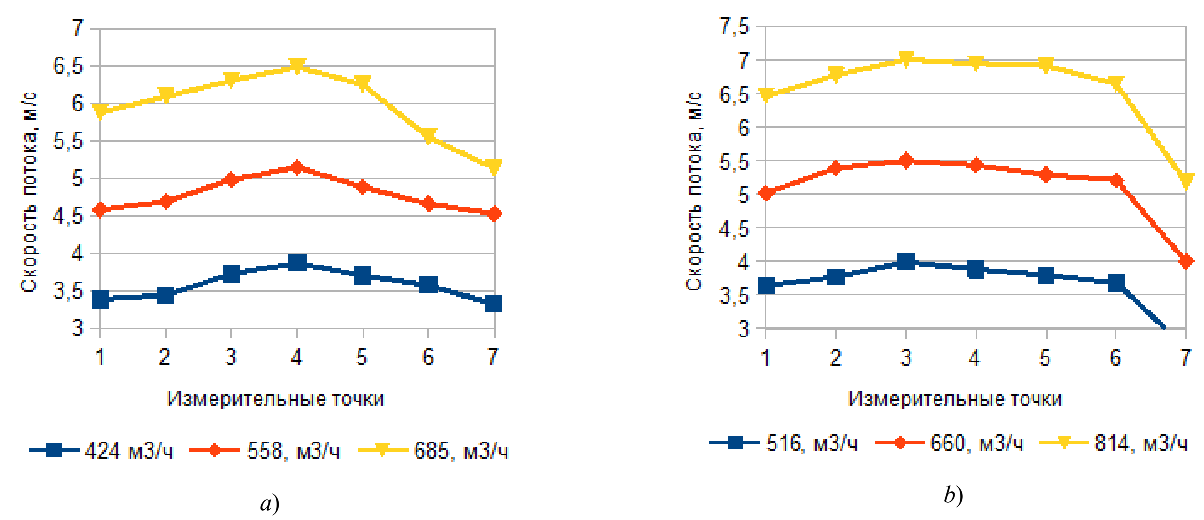
— «ЦН-15у-300»: *n*1 = 424 $м^3$/ч, *n*2 = 558 $м^3$/ч, *n*3 = 685 $м^3$/ч;
— «ЦОК-200-300»: *n*1 = 516 $м^3$/ч, *n*2 = 660 $м^3$/ч, *n*3 = 814 $м^3$/ч.

Экспериментальная часть и численные исследования. Полученные результаты в экспериментах были обработаны и представлены в виде графиков (рис. 4–9).

На рис. 4 показаны результаты измерений скоростей воздушного потока во входном патрубке аппаратов «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300» на разных режимах работы вентилятора.

Как видно из рис. 4, величины скорости во входном трапециевидном патрубке «ЦОК-200-300» несколько выше, чем на входе цилиндрического циклона, что обусловливает более высокое значение центробежной силы на первых витках траектории движения воздуха в аппарате.

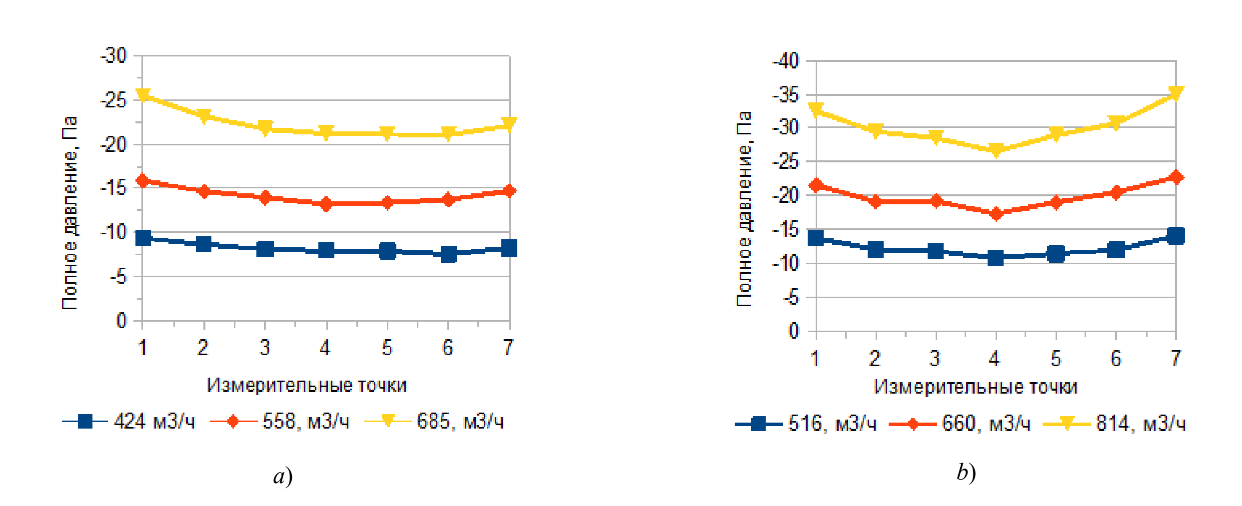
На рис. 5 и 6 показаны результаты измерений полных давлений воздушного потока во входном и выходном патрубках установки на разных режимах работы вентилятора.



a) *b*)

Рис. 4. Скорость воздушного потока при различных режимах работы вентилятора во входных патрубках циклонов «ЦН15у-300» (*a*) и «ЦОК-200-300» (*b*)

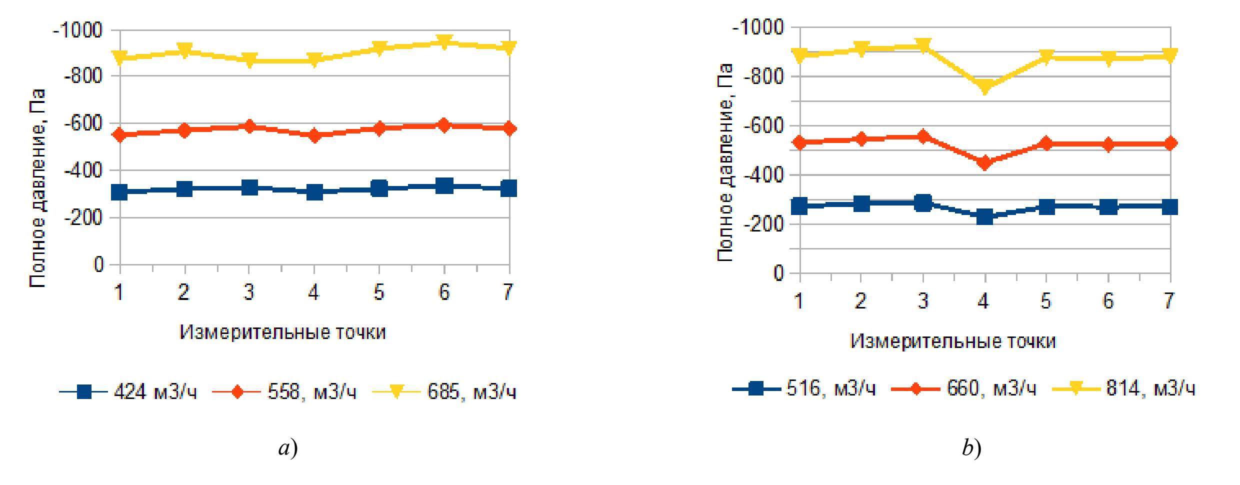
Fig. 4. Air flow velocity under various fan operating modes in inlet nozzles of "TsN15u-300" (a), and "CSC -200-300" cyclones (b)



a) *b*)

Рис. 5. Полное давление воздушного потока при различных режимах работы вентилятора во входных патрубках циклонов «ЦН15у-300» (*a*) и «ЦОК-200-300» (*b*)

Fig. 5. Total airflow pressure under various fan operating modes in inlet nozzles of "TsN15u-300" (a), and "CSC -200-300" cyclones (b)



a) *b*)

Рис. 6. Полное давление воздушного потока при различных режимах работы вентилятора на выходных патрубках циклонов «ЦН-15у-300» (*a*) и «ЦОК-200-300» (*b*)

Fig. 6. Total airflow pressure under various fan operating modes in outlet nozzles of "TsN15u-300" (a), and "CSC -200-300" cyclones (b)

Характер изменения полного давления показывает, что в выходном патрубке циклона образуется разряжение. Это объясняется тем, что исследуемые центробежные аппараты работают не на нагнетание, а на вытяжку (согласно схеме установки). Это явление объясняется вихреобразным потоком не только в теле аппаратов «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300», но и на выходе установки. При этом давление распределяется по периферии вихря.

В циклонных аппаратах формируются сложные потоки, аэродинамические параметры которых (скорости, давления) непрерывно меняются. Для определения реальной скорости воздушного потока в теле циклонов используется формула:

$$V = \frac{Q}{0{,}785 \cdot 3600 D^2}, \qquad (1)$$

где 3600 — перевод Q в м/с; Q — объем воздушного потока, проходящего через циклон в зависимости от режима работы вентилятора, м/ч; D — диаметр циклона, м [11]

Результаты расчетов скорости потока в теле циклонов представлены в виде графиков (рис. 7).

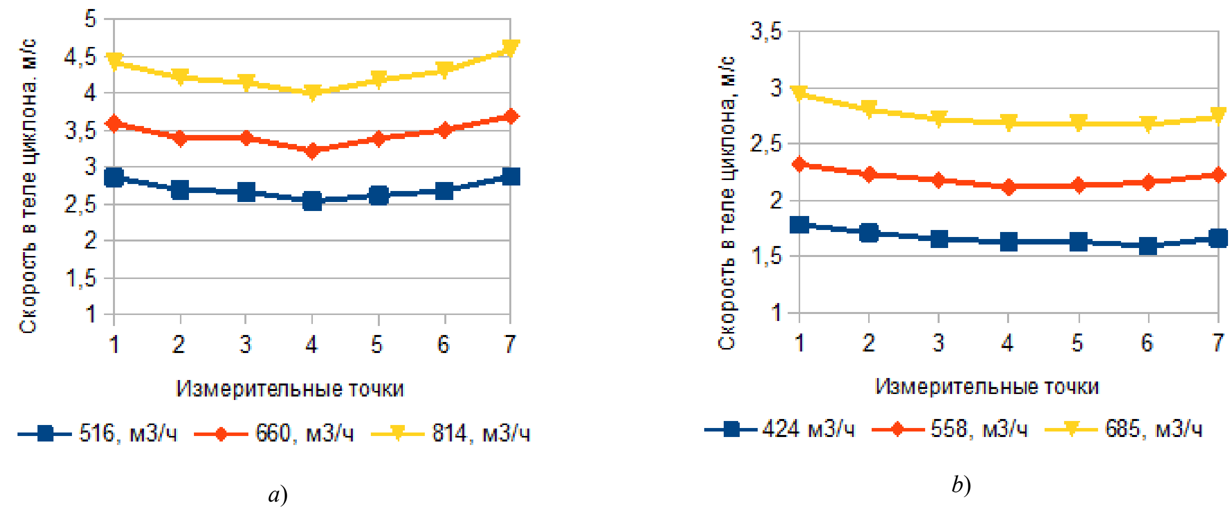


Рис. 7. Скорость воздушного потока при различных режимах работы вентилятора (при разной производительности) в теле циклонов «ЦН15у-300» (*a*) и «ЦОК-200-300» (*b*)

Fig. 7. Air flow velocity under various fan operating modes (under varying performance) in bodies of "TsN15u-300" (a), and "CSC -200-300" cyclones (b)

Результаты расчетных скоростей хорошо согласуются со значениями скоростей, представленными в литературных источниках, согласно которым скорость в теле циклона «ЦН-15у-300» равна 3,5 м/с, в циклоне «ЦОК» — 4,5 м/с [12].

Важным показателем определения коэффициента гидравлического сопротивления (КГС) является перепад давления на входе и выходе в аппаратах «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300» (рис. 8).

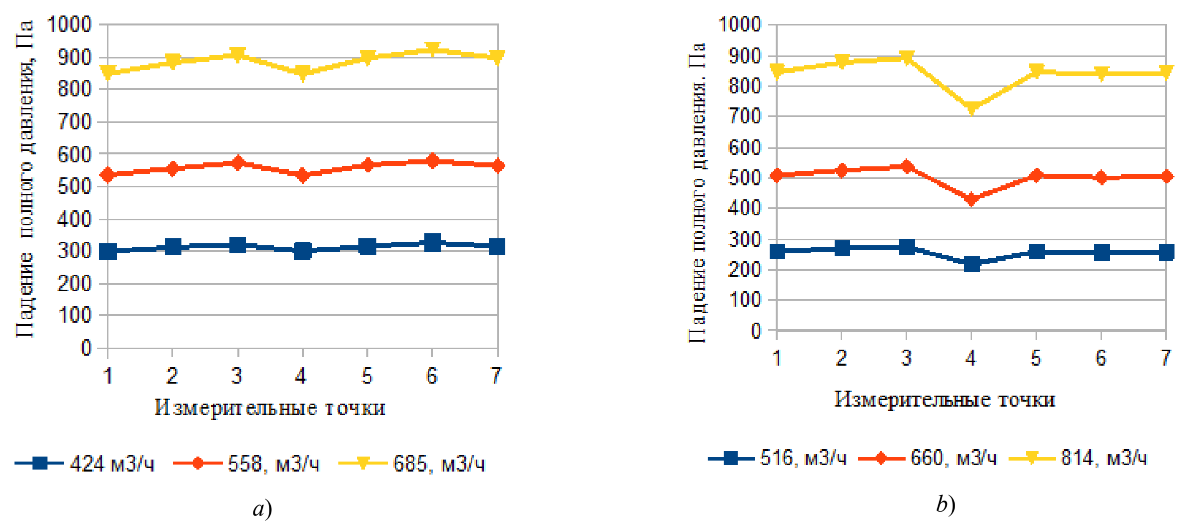


Рис. 8. ΔP полного давления воздушного потока при различных режимах работы вентилятора циклонов «ЦН-15у-300» (*a*) и «ЦОК-200-300» (*b*)

Fig. 8. ΔP of total airflow pressure under various fan operating modes of "TsN15u-300" (a), and "CSC -200-300" cyclones (b)

Как видно из рис. 8, перепады полных давлений на входе и выходе в исследуемых аппаратах «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300» практически не отличаются. Однако с величинами КГС центробежных пылеуловителей все обстоит иначе.

Стоимость газоочистки является важнейшим показателем, т. к. характеризует ее экономичность. Она определяется главным образом капитальными затратами на оборудование и эксплуатационными расходами. Капитальные затраты зависят от конструктивных особенностей и установленных мощностей оборудования. Эксплуатационные расходы зависят в основном от расхода электрической энергии и определяются потребляемой мощностью циклона. Эта мощность зависит от гидравлического сопротивления циклона (потери давления в нем — ΔP).

Коэффициенты гидравлического сопротивления «ЦН-15у-300» и «ЦОК-200-300» вычисляются по формуле (2) и представлены на графиках (рис. 9):

$$\xi_{вх} = \frac{2\Delta P_{ц}}{\rho V_{вх}^2}, \qquad (2)$$

где: $\xi_{вх}$ — коэффициент гидравлического сопротивления циклона; $V_{вх}$ — скорость потока во входном патрубке, м/с; ΔP циклона — падение полного давления, Па; ρ — плотность воздушного потока.

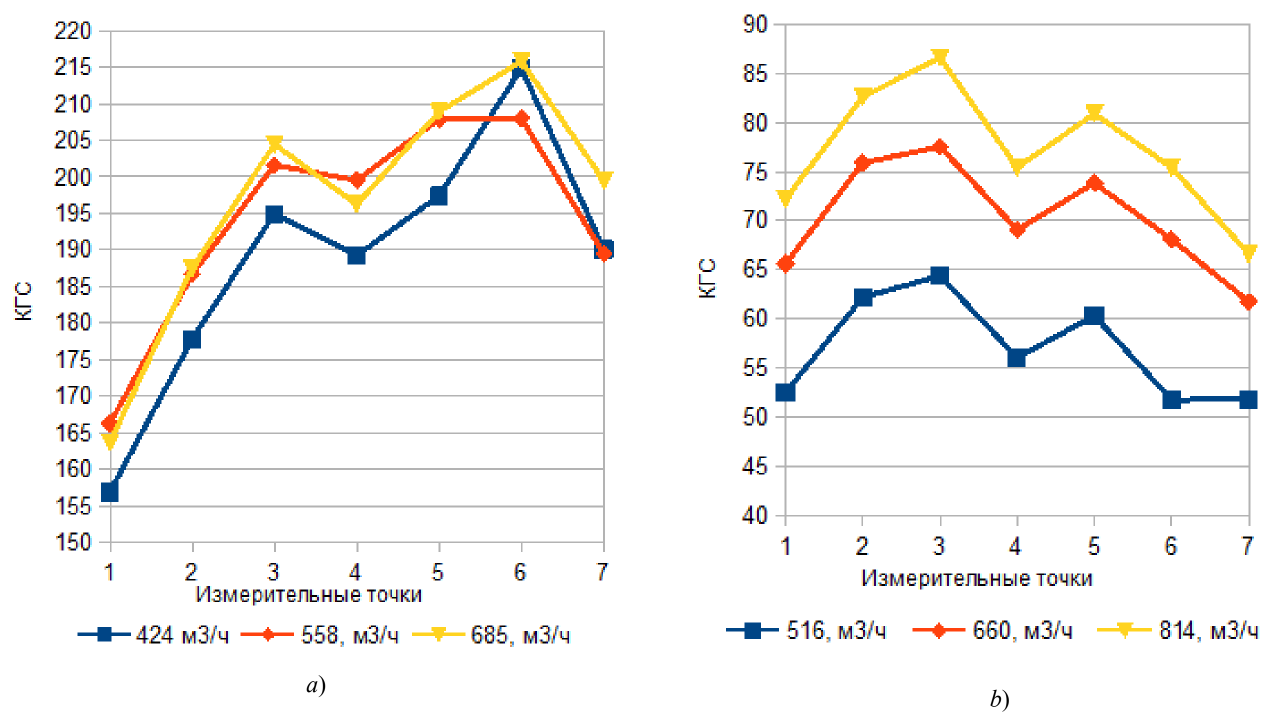


Рис. 9. Коэффициент гидравлического сопротивления при различных режимах работы вентилятора циклонов «ЦН-15у-300» (*a*) и «ЦОК-200-300» (*b*)

Fig. 9. Hydraulic resistance coefficient under various fan operating modes of "TsN15u-300" (a), and "CSC -200-300" cyclones (b)

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что КГС аппарата «ЦОК-200-300» в 2–2,2 раза меньше КГС «ЦН-15у-300» за счет более высокой скорости потока воздуха в теле аппарата.

Выводы. Результаты проведенных испытаний позволяют сделать следующие выводы.

1. С увеличением производительности сравниваемых циклонных аппаратов наблюдается рост КГС.
2. При сравнении коэффициентов гидравлического сопротивления (КГС) аппаратов экспериментально доказано, что величины КГС «ЦОК-200-300» в 2–2,2 раза меньше КГС «ЦН-15у-300» за счет более высокой скорости потока в теле аппарата.
3. Полученные результаты свидетельствуют о лучших аэродинамических характеристиках циклона с обратным конусом и, возможно, более высокой эффективности пылеулавливания за счет увеличенной степени турбулизации потоков.
4. Для последующей проверки полученных выводов необходимы дальнейшие экспериментальные исследования на полупромышленной установке, в том числе на запыленных потоках.

Библиографический список

1. Потемкина, А. В. Теоретические и экспериментальные исследования влияния глубины погружения выхлопного патрубка на аэродинамические свойства и эффективность циклонных аппаратов / А. В. Потемкина, Е. С. Лукаш // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10, № 4 (47). — С. 526–533.

2. Features of Velocity and Pressure Fields Formation in the Centrifugal Dust Collector / Y. Buligin [et al.] // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 698. — P. 542–545.

3. Cyclone with Controlled Parameters and Self-Emptying Bin for Air Dedusting in Machine Building Plants / B. Ch. Meskhi [et al.] // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 682. — P. 46–52.

4. Пылеулавливатель : патент 2506880 A47L 9/16 Рос. Федерация / Б. Ч. Месхи [и др.]. — № 2012155164/12 ; заявл. 18.12.12 ; опубл. 20.02.14, Бюл. № 5. — 7 с.

5. Установка для пылеулавливания : патент 2557741 A47L 9/16 Рос. Федерация / Б. Ч. Месхи [и др.]. — № 2014136881/12 ; заявл. 11.09.14 ; опубл. 27.07.15, Бюл. № 21. — 4 с.

6. Экспериментальные установки для исследования влияния формы и геометрии конструкции центробежных пылеуловителей на их аэродинамические характеристики и эффективность пылеулавливания / Ю. И. Булыгин [и др.] // Новые направления модернизации педагогического образования в формировании здорового образа жизни и безопасности жизнедеятельности : мат-лы V регион. науч.-практ. конф. Южного федерального округа 7 декабря 2016 года. — Краснодар : ИПЦ КубГУ, 2017. — С. 200.

7. Трубки напорные модификации НИОГАЗ и ПИТО. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] / ООО НПО «ЭКО-ИНТЕХ». — Режим доступа: http://www.eco-intech.com/img/AVimg/Brochure/instr%20trubki.pdf (дата обращения: 01.08.17).

8. Testo 521/526. Руководство пользователя [Электронный ресурс] / ООО «Тесто Рус». — Режим доступа: http://www.energo-snab.ru/upload/iblock/71e/71e6ab7415a3308288cda88a94dde7a7.pdf (дата обращения: 01.08.17).

9. Testo. ComSoft 3.4. Руководство пользователя [Электронный ресурс] / ООО «Тесто Рус». — Режим доступа: https://media.testo.com/media/19/b8/457afbfcf6a6/instrukciya-testo-comsoft-basic.pdf (дата обращения: 01.08.17).

10. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения. ГОСТ 17.2.04.06-90 / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. — Москва : Издательство стандартов, 2003. — 11 с.

11. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита окружающей среды от вредных выбросов / А. Г. Ветошкин. — Москва : Инфра-Инженерия, 2016. — 416 с.

12. Лазарев, В. А. Циклоны и вихревые пылеуловители. Справочник / В. А. Лазарев. — Нижний Новгород : «Фирма ОЗОН-НН», 2006. — 320 с.

References

1. Potemkina, A.V., Lukash, E.S. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya glubiny pogruzheniya vykhlopnogo patrubka na aerodinamicheskie svoystva i effektivnost' tsiklonnykh apparatov. [Theoretical and experimental study of the influence of immersion depth of the exhaust pipe on the cyclone apparatus aerodynamic properties and efficiency.] Vestnik of DSTU, 2010, vol. 10, no. 4 (47), pp. 526–533 (in Russian).

2. Buligin, Y., et al. Features of Velocity and Pressure Fields Formation in the Centrifugal Dust Collector. Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 698, pp. 542–545.

3. Meskhi, B. Ch., et al. Cyclone with Controlled Parameters and Self-Emptying Bin for Air Dedusting in Machine Building Plants. Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 682, pp. 46–52.

4. Meskhi, B. Ch., et al. Pyleulavlivatel': patent 2506880 A47L 9/16 Ros. Federatsiya. [Dust collector.] Patent RF, no. 2506880, 2014 (in Russian).

5. Meskhi, B. Ch., et al. Ustanovka dlya pyleulavlivaniya: patent 2557741 A47L 9/16 Ros. Federatsiya. [Dust-precipitating plant.] Patent RF, no. 2557741 A47L 9/16, 2015 (in Russian).

6. Bulygin, Y.I., et al. Eksperimental'nye ustanovki dlya issledovaniya vliyaniya formy i geometrii konstruktsii tsentrobezhnykh pyleuloviteley na ikh aerodinamicheskie kharakteristiki i effektivnost' pyleulavlivaniya. [Pilot plants for studying the effect of shape and geometry of centrifugal dust collector design on their aerodynamics and dust collection efficiency.] Novye napravleniya modernizatsii pedagogicheskogo obrazovaniya v formirovanii zdorovogo obraza zhizni i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: mat-ly V region. nauch.-prakt. konf. Yuzhnogo federal'nogo okruga 7 dekabrya 2016 goda. [New areas of pedagogical education modernization in the formation of healthy lifestyle and safety of life: Proc. V Region. Sci.-Pract. Conf. of Southern Federal District, December 7, 2016.] Krasnodar: IPTs KubGU, 2017, p. 200 (in Russian).

7. Trubki napornye modifikatsii NIOGAZ i PITO. Rukovodstvo po ekspluatatsii. [Pressure tubes of NIIOGAZ and PITO modification. Instruction manual.] OOO NPO «EKO-INTEKh». Available at: http://www.eco-intech.com/img/AVimg/Brochure/instr%20trubki.pdf (accessed: 01.08.17) (in Russian).

8. Testo 521/526. Rukovodstvo pol'zovatelya. [Testo 521/526. User's manual.] OOO «Testo Rus». Available at:

http://www.energo-snab.ru/upload/iblock/71e/71e6ab7415a3308288cda88a94dde7a7.pdf (accessed: 01.08.17) (in Russian).

9. Testo. ComSoft 3.4. Rukovodstvo pol'zovatelya. [Testo. ComSoft 3.4. User's manual.] OOO «Testo Rus». Available at: https://media.testo.com/media/19/b8/457afbfcf6a6/instrukciya-testo-comsoft-basic.pdf (accessed: 01.08.17) (in Russian).

10. Okhrana prirody. Atmosfera. Metody opredeleniya skorosti i raskhoda gazopylevykh potokov, otkhodyashchikh ot statsionarnykh istochnikov zagryazneniya: GOST 17.2.04.06-90. [State standard. Nature protection. Atmosphere. Methods for determination of velocity and flowrate of gas-and-dust streams from stationary sources of pollution.] CIS Council for Standardization, Metrology and Certification. Moscow: Standartinform, 2003, 11 p. (in Russian).

11. Vetoshkin, A. G. Inzhenernaya zashchita okruzhayushchey sredy ot vrednykh vybrosov. [Engineering protection of the environment from harmful emissions.] Moscow: Infra-Inzheneriya, 2016, 416 p. (in Russian).

12. Lazarevв, V.A. Tsiklony i vikhrevye pyleuloviteli. Spravochnik. [Cyclones and vortex dust collectors. Reference book.] Nizhniy Novgorod: "Firma OZON-NN", 2006, 320 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 14.06.2017
Сдана в редакцию 14.06.2017
Запланирована в номер 17.07.2017

Received 14.06.2017
Submitted 14.06.2017
Scheduled in the 17.07.2017

Об авторах:

Булыгин Юрий Игоревич,
профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), доктор технических наук, профессор,
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0644-7412
bulyur_rostov@mail.ru

Азимова Наталья Николаевна,
аспирантка кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», старший преподаватель кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1),
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9484-2430
arkomaazimov@mail.ru

Купцова Ирина Сергеевна,
аспирантка кафедры "Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды" Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1),
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2236-0384
i-kyptsova@mail.ru

Authors:

Bulygin, Yury I.,
professor of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), Dr.Sci. (Eng.), professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0644-7412
bulyur_rostov@mail.ru

Azimova, Natalia N.,
postgraduate student of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), senior lecturer of the Applied Mathematics Department,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9484-2430
arkomaazimov@mail.ru

Kuptsova, Irina S.,
postgraduate student of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2236-0384
i-kyptsova@mail.ru